

# 36

## ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО КОСМИЧЕСКИМ ЛУЧАМ

### Совершенствование метода исследования распределения космических лучей на основе данных сети мюонных телескопов

*Гололобов П.Ю., Зверев А.С., Григорьев В.Г.*

*ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»*

*Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера СО РАН*

*E-mail: [gpeter@ikfia.ysn.ru](mailto:gpeter@ikfia.ysn.ru)*

*Skype: [live:.cid.78afed5ea75784e6](https://www.skype.com/join/78afed5ea75784e6)*

## ВВЕДЕНИЕ

В цикле наших работ [Grigoryev et al., 2019 ; Григорьев и др, 2019; Гололобов и др., 2019] представлено поэтапное развитие метода мгновенного определения углового распределения КЛ по данным наземных детекторов КЛ, а именно мировой сети мюонных телескопов. Для этого использовались данные мюонных телескопов (МТ) сети **GMDN** (<http://cosray.shinshu-u.ac.jp/crest/DB/Public/Archives/GMDN.php>) и Якутского спектрографа КЛ.

Использование МТ вместо НМ мотивировано, прежде всего, возможностью наблюдения углового распределения КЛ в более высоком энергетическом диапазоне (эфф. Энергии КЛ регистрируемых МТ составляют примерно  $\sim 50$  ГэВ, а НМ -  $\sim 10$  ГэВ).

В данной работе представлено текущее состояние метода с описанием последних доработок.

Muon Detector Network

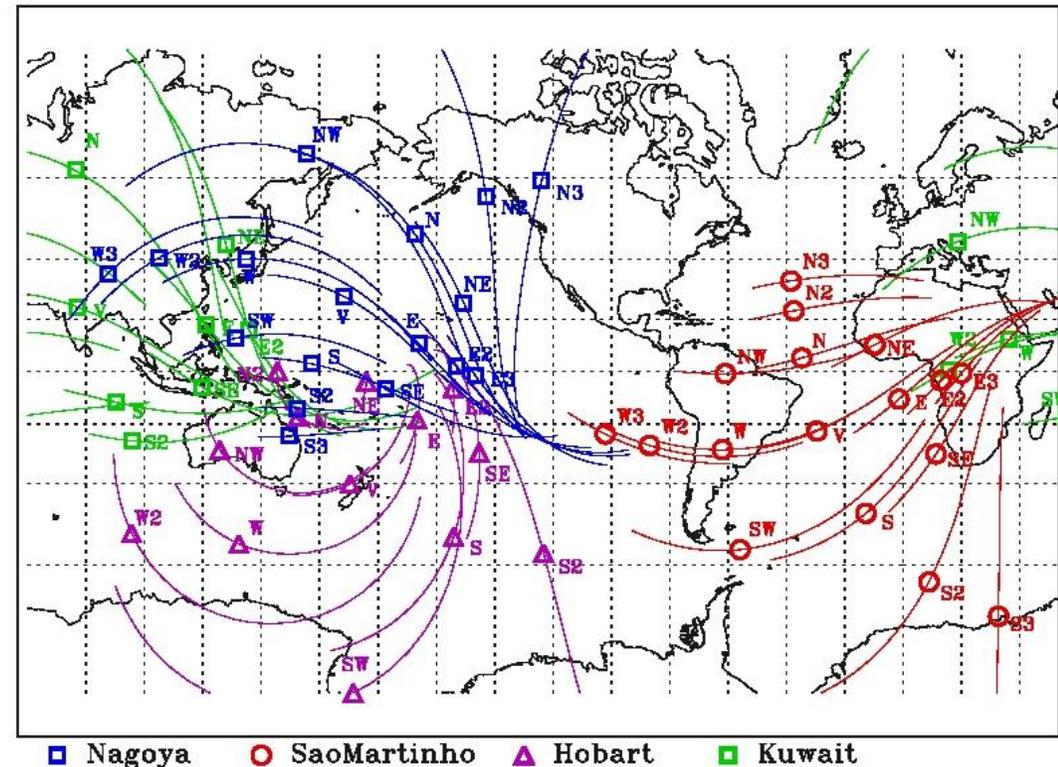


Рис. Асимптотические углы прихода частиц, регистрируемых сетью GMDN [<http://cosray.shinshu-u.ac.jp/crest/Lab/Research/GMDN/GMDN5.php>]

# МЕТОДИКА ГЛОБАЛЬНОЙ СЪЕМКИ ПО ДАННЫМ СЕТИ МЮОННЫХ ТЕЛЕСКОПОВ

Предлагаемый подход является вариантом известного метода глобальной съемки [Altukhov et al., 1970], но основанного на данных мировой сети МТ. Краткая информация о методе:

- Метод представляет собой сферический анализ данных измерений наземных МТ;
- Метод основан на т.н. приемных векторах [Крымский и др., 1981], предназначенных для косвенной оценки первичного излучения КЛ по данным наземных приборов.
- При известных приемных векторах  $R_n^m = (x_n^m, y_n^m)$ , интенсивность регистрируемая  $j$ -м детектором будет определяться следующий выражением:

$$I^j = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n (a_n^m x_n^{m,j} + b_n^m y_n^{m,j}) k_n^j, \quad (1)$$

где  $a_n^m, b_n^m$  - компоненты многомерного вектора распределения КЛ  $A_n^m$ ,  $k_n^j$  - множитель приводящий показания детекторов к единому энергетическому уровню.

- Искомое распределение  $A_n^m = (a_n^m, b_n^m)$  определяется путем решения системы уравнений (1) МНК.

## УЧЕТ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ФАКТОРОВ ПРИЕМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАНЦИЙ МТ

Ранее в работе [Grigoryev et al., 2019] нами был проведен относительно грубый расчет компонент приемных векторов  $x_n^{m,j}$ ,  $y_n^{m,j}$ . Ниже представлены результаты по уточнению этих компонент.

Для более точного использования приемных векторов проведено следующее:

- Для учета влияния атмосферы используется метод коэффициентов связи [Дорман, 1957];
- Для учета влияния атмосферы, введен расчет зенитно-угловой зависимости  $W(E, \theta)$ . Используются результаты работ [Крымский и др., 2011; Fujimoto et al., 1977];
- Произведено более детальный расчет диаграмм направленности МТ;

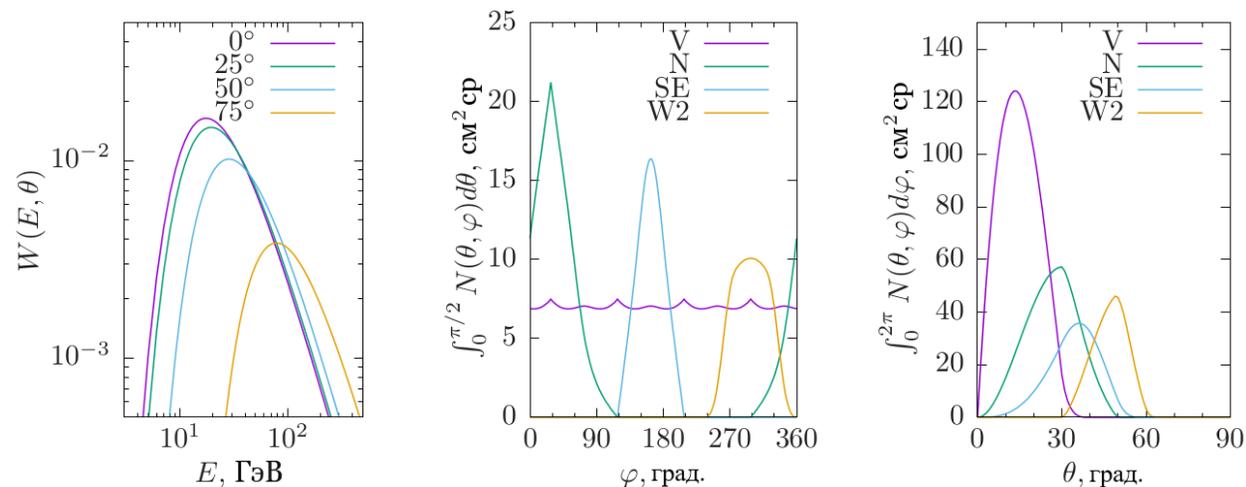


Рис. Приемные характеристики МТ на примере станции Хобарт сети GMDN. Слева – коэффициенты связи под различными зенитными углами; посередине и справа – соответственно интегральные азимутальные и зенитные диаграммы направленности.

## УЧЕТ ОРБИТАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ЗЕМЛИ И ТЕМПЕРАТУРНОГО ЭФФЕКТА

- Произведен учет орбитального движения Земли (эффект Комптона-Геттинга [Compton&Getting, 1935]). Согласно [Munakata et al., 2014], создаваемая анизотропия имеет следующие компоненты

$$a_1^0 = 0, a_1^{1,КГ} = -\frac{(2+\gamma)v_3}{c}, b_1^{1,КГ} = 0,$$

где  $\gamma$  - показатель энергетического спектра ГЛ,  $v_3$  - скорость Земли и  $c$  - скорость света. Вариации от эффекта:

$$I^{КГ} = \sum_{n=0}^1 \sum_{m=0}^n (a_n^{m,КГ} x_n^{m,КГ} + b_n^{m,КГ} y_n^{m,КГ}),$$

- Произведен учет температурного эффекта для станций МТ при помощи метода представленного в [Berkova et al., 2012]. Это позволяет определить интенсивность КЛ возникающую в результате колебаний температуры атмосферы  $I^{\Delta t}$ . В итоге, интенсивность КЛ, входящая в уравнение (1) будет определяться выражением

$$I^j = I^{0,j} - I^{КГ} - I^{\Delta t},$$

где  $I^{0,j}$  - наблюдаемая наземным детектором интенсивность КЛ без учета вышеуказанных эффектов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Создан новый вариант метода глобальной съемки, основанный на использовании данных регистрации КЛ на станциях мировой сети мюонных телескопов.
- Проведены методические доработки для более корректного использования в методе глобальной съемки данных мировой сети мюонных телескопов.
- С учетом проведенных методических работ проведены расчеты параметров двух первых моментов функции углового распределения КЛ по данным мюонных телескопов за 2012-2018 гг.
- Результаты новых расчетов значений параметров анизотропии космических лучей за вышеуказанный период доступны в сети Интернет на сайте ИКФИА по адресу: [www.ysn.ru/smt](http://www.ysn.ru/smt).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-02-00451-а и с использованием оборудования уникальной научной установки «Российская национальная наземная сеть станций космических лучей». Авторы выражают благодарность создателям баз данных NMDB, MDDB и GMDN за предоставленную информацию.